

Підсумовуючи отримані нами результати, можна з впевненістю сказати, що запропонована нами конструкція забезпечує підготовку питної води і рекомендується для впровадження в системи локального водопостачання сільських населених пунктів. Перевагами даної конструкції є запобігання виносу пінополістиролу, порівняно великий регулюючий об'єм очищеної води, простота конструкції, що дозволяє проводити оснащення існуючих водонапірних башт при будівництві та реконструкції систем водопостачання.

1. Орлов В.О., Квартенко О.М., Мартинов С.Ю., Гордієнко Ю.І. Знезалізнення підземних вод для питних цілей. – Рівне: УДУВГП, 2003. – 155 с.

2. Орлов В.О., Зошук А.М., Мартинов С.Ю. Пінополістирольні фільтри в технологічних схемах водопідготовки. – Рівне: РДТУ, 1999. – 144 с.

3. Патент по заявке №95114939 (UA) Муромцев Л.Н., Хоружий П.Д. Установка для знезалізнення води. Опубл. 20.08.1997.

4. Патент №46297 (UA) Дзюба С.В. Пристрій очищення води. Опубл. 15.01.2004.

5. Патент по заявке №96111252 (RU) Юрков Е.В., Терновцев В.Е., Бондаренко В.И., Грубий П.П. Установка для знезалізнення води. Опубл. 27.07.1998.

6. Курило А.Н. Впровадження установки “Десна” // Водне господарство України. – 1996. – №3. – С.17-20.

7. Орлов В.О., Мартинов С.Ю., Мінаєва Н.Л. Знезалізнення води на установці баштового типу // Вісник НУВГП: Зб. наук. праць. Вип.4 (28). Ч.1. – Рівне, 2005. – С.307-315.

8. Патент №10199 (UA) Орлов В.О. Мінаєва Н.Л.. Башта-колона з пристроєм для знезалізнення води. Опубл. 15.11.2005.

Отримано 07.09.2007

УДК 628.33

Ю.Д.КОПАНИЦЯ, В.Л.ПОЛЯКОВ, д-р техн. наук

Київський національний університет будівництва і архітектури

ТЕОРЕТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ КЕРУВАННЯ ПОТОКУ ПУЛЬПИ В ЗОНІ ПІСКОВОГО НАСАДКА НАПІРНОГО ГІДРОЦИКЛОНА ПОВІТРЯНИМ СТРУМОМ

Наведена математична модель, розрахунки, аналіз і візуалізація процесу керування пневматичним регулятором процесу згущення пульпи в напірному гідроциклоні. Обґрунтовано оптимальні конструктивні параметри промислового піскового регулятора напірного гідроциклонна в складі водно-шламової системи збагачувальної фабрики.

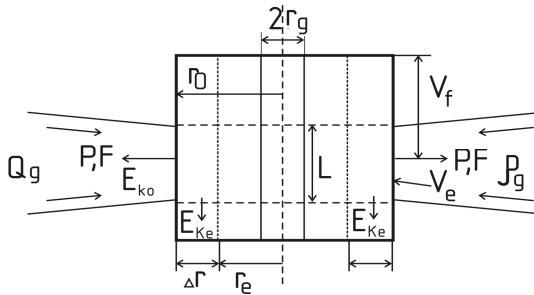
Загальна тенденція технічного розвитку водно-шламових систем полягає у відмові від зовнішніх очисних споруджень і освітлення стічних вод на збагачувальній фабриці [1]. Сучасне широке впровадження гідроциклонів у системи оборотного водопостачання збагачувальних фабрик і автоматизація цих процесів зумовлюють підвищення вимог до надійності й ефективності керування цими апаратами [2, 3].

Аналіз досліджень, виконаних Д.А.Барановим, Д.Н.Копаниця, Ю.Д.Копаниця [3-5] та іншими, показує, що для поліпшення процесів очищення стічних вод необхідні нові технологічні та конструктивні рішення, які дозволяють використовувати освітлену стічну воду у системі оборотного водопостачання.

Метою даної роботи є створення математичної моделі керування потоку пульпи за рахунок технологічних рішень роботи напірного гідроциклону.

Запропоновано пневматичний регулятор напірного гідроциклону [4], який встановлюється на пісковий насадок і забезпечує автоматичне регулювання [5] процесу згущення відходів флотації, а освітлена вода поступає в систему зворотного водопостачання збагачувальної фабрики. Використовується регулятор з напірним циліндроконічним гідроциклоном, включеним у стандартну і широко розповсюджену водно-шламову систему збагачувальної фабрики.

Спосіб регулювання і пристрій для його реалізації, закладені в розроблений промисловий регулятор для гідроциклону, захищені авторськими свідоцтвами [4, 5]. Схема потоків повітря на виході піскового насадку гідроциклону наведена на рисунку.



Теоретичні дослідження базуються на балансі механічної енергії в зоні піскового насадку гідроциклону:

$$E_{ko} = E_{ke} + A_p + A_f + E_n, \quad (1)$$

де E_{ko} – питома кінетична енергія регулюючого струменя газу (за одиницю часу); E_{ke} – питома залишкова кінетична енергія газу після регулювання; A_p – питома енергія, витрачена на протидію силі тиску в одиницю часу; A_f – питома енергія, витрачена на подолання відцентрової сили потоку пульпи; E_n – питома втрата енергії на місцеві втрати при перебудові стікаючого потоку пульпи.

На регулювання супутних витрат енергії енергетичний ресурс газового струменя, що головним чином витрачається за одиницю часу на

$$E_{ko} = \frac{\rho_g 2\pi r_0 L V_e V_e^2}{2}. \quad (2)$$

Сила тиску на ділянці регулювання висотою L і периметром $2\pi r_0$ до регулювання складе

$$P_0 = 2\pi r_0 L p_a, \quad (3)$$

де p_a – атмосферний тиск.

Якщо потік має середню швидкість V_f , то за одиницю часу L відстань шляху складає V_f . Робота, яку необхідно виконати, щоб перемістити границю струменя на dr , долаючи силу тиску, дорівнює

$$dA_p = P(r)dr = 2\pi V_f p_a r dr. \quad (4)$$

При переміщенні границі в межах від r_0 до r_e за одиницю часу буде витрачена енергія

$$A_p = 2\pi V_f p_a \int_{r_e}^{r_0} r dr = 2\pi V_f p_a (r_0^2 - r_e^2), \quad (5)$$

де r_e – радіус згущеного потоку пульпи при заданому початковому розмірі піскового патрубку гідроциклону r_0 .

Відцентрова сила, що діє на тверде тіло масою m , яке обертається з кутовою швидкістю Ω , буде

$$F = m\Omega^2 r. \quad (6)$$

У першому наближенні тіло обертання двофазної рідини приймається однорідним із щільністю ρ_{mix} . Тоді маса цього тіла dm складе

$$dm = \rho_{mix} r d\varphi dr dz, \quad (7)$$

де ρ_{mix} – щільність двофазного потоку.

Маса тіла обертання в межах від r_g до r дорівнює

$$m = \rho_{mix} \int_0^{V_l} \int_{r_g}^r \int_0^{2\pi} r d\varphi dr dz = \pi \rho_{mix} V_f (r^2 - r_g^2). \quad (8)$$

Енергія, яку потрібно витратити, щоб змістити границю струменя на dr при протидії відцентровій сили, буде

$$dA_F = F dr = \pi \rho_{mix} V_f \Omega^2 (r^2 - r_g^2) r dr. \quad (9)$$

За одиницю часу переміщення границі струменя на $\Delta r = r_0 - r_e$ вимагає в такому випадку енергії

$$A_F = \int_{r_e}^{r_0} F dr = \pi \rho_{mix} V_f \Omega^2 \left(\frac{r_0^4 - r_e^4}{4} - r_g^2 \frac{r_0^2 - r_e^2}{2} \right). \quad (10)$$

Залишкова питома кінетична енергія струменя вихідного газу:

$$E_{ke} = \frac{\rho_g \omega_g V_g^3}{2}, \quad (11)$$

де середня швидкість вихідного газу $V_g = \frac{Q_g}{\omega_g}$; Q_g – витрата регулю-

ючого газу; ω_g – площа струменя стікаючого газу, $\omega_g = \pi(r_0^2 - r_e^2)$.

У такий спосіб

$$E_{ke} = \frac{\rho_g \omega_g Q_g^3}{2 \omega_g^3} = \frac{\rho_g Q_g^3}{2 \pi^2 (r_0^2 - r_e^2)^2}. \quad (12)$$

Витрати енергії на подолання місцевих опорів при перебудові стікаючого потоку пульпи в одиницю часу розраховуються для випадку втрати напору в соплі [6]:

$$E_n = \xi \frac{V_f^3}{2} \rho_{mix} \omega_{mix}, \quad (13)$$

де ξ – коефіцієнт місцевого опору при модулі сопла $m_{vent} = 0,56-0,65$;

ω_{mix} – площа струменя згущеного продукту, $\omega_g = \pi(r_e^2 - r_g^2)$.

Остаточню для визначення r_e пропонується рівняння:

$$\begin{aligned} \frac{\rho_g 2\pi r_0 l V_e^3}{2} = \frac{\rho_g Q_g^3}{2\pi^2 (r_0^2 - r_e^2)} + \pi V_f p_a (r_0^2 - r_e^2) + \\ + \pi \rho_{mix} V_f \Omega^2 \left(\frac{r_0^4 - r_e^4}{4} - r_g^2 \frac{r_0^2 - r_e^2}{2} \right) + \xi \frac{V_f^3}{2} \rho_{mix} \omega_{mix}. \end{aligned} \quad (14)$$

Розрахунок згущення виконується наступним чином, витрата твердої речовини до регулювання становить

$$q_{so} = C_s \omega_{so} V_s + C_l \omega_{lo} V_l, \quad (15)$$

де C_s, C_l – концентрація твердого в зовнішньому (згущеному) і у вну-

трішньому (освітленому) потоках пульпи; ω_{so}, ω_{lo} – початкові площі зовнішнього і внутрішнього потоків загального двофазного потоку; V_s, V_l – середні швидкості зовнішнього й внутрішнього потоків.

Витрата твердої речовини під час регулювання

$$q_s = C_s \omega_s V_s + C_l \omega_l V_l. \quad (16)$$

Ця формула справедлива, якщо після обтиснення струменя внутрішня зона збережеться. Така ситуація буде мати місце у випадку

$$\pi(r_0^2 - r_e^2) \leq \pi r_{lo}^2 \text{ або } r_e > \sqrt{r_0^2 - r_{lo}^2}, \quad (17)$$

де r_{lo} – зовнішній радіус внутрішньої зони до регулювання.

Вважається, що середні швидкості двофазного потоку до і під час регулювання, а також у межах обох зон однакові. Тоді згущення у відносних величинах виразяться співвідношенням

$$\frac{q_s}{q_{so}} = \frac{C_s \omega_{so} + C_l \omega_l}{C_s \omega_{so} + C_l \omega_{lo}}. \quad (18)$$

Якщо $r_e = \sqrt{r_0^2 - r_{lo}^2}$, то внутрішня зона зникне, а зовнішня збережеться.

Тоді

$$\frac{q_s}{q_{so}} = \frac{C_s \omega_{so}}{C_s \omega_{so} + C_l \omega_{lo}}. \quad (19)$$

Нарешті, якщо $r_e < \sqrt{r_0^2 - r_{lo}^2}$, то зменшиться також площа і зовнішньої зони (внутрішня повністю зникне) і тоді

$$\frac{q_s}{q_{so}} = \frac{C_s \omega_s}{C_s \omega_{so} + C_l \omega_{lo}}, \quad (20)$$

де ω_s дорівнюватиме πr_e^2 .

Для перевірки методики розрахунку згущення твердої речовини використані результати експериментів на моделі стандартного промислового напірного циліндроконічного гідроциклону ГЦ350. Обчислення проведені у системі Maple ver.10 [7, 8], і отримані наступні значення:

$$\begin{aligned} A_F &= 0,201 \times 10^{-6} \frac{\text{кг} \times \text{м}^2}{\text{с}^3}, & A_P &= 0,917 \frac{\text{кг} \times \text{м}^2}{\text{с}^3}, \\ E_{ke} &= 0,243 \times 10^{-9} \frac{\text{кг} \times \text{м}^2}{\text{с}^3}, & E_n &= 0,279 \frac{\text{кг} \times \text{м}^2}{\text{с}^3}, \end{aligned}$$

$$E_{ko} = 1,197 \frac{\text{кг} \times \text{м}^2}{\text{с}^3}, \quad r_e = 0,005 \text{ м}, \quad r_o = 0,0055 \text{ м}.$$

При розрахунку вмісту твердої речовини в згущеному за теоретичною формулою отримано коефіцієнт згущення

$$\frac{B_{зг}}{B_{жив}} = 21,608, \quad (21)$$

де $B_{зг}, B_{жив}$ – кількість пульпи в згущеному продукті і живленні гідроциклону.

При проведенні експериментальних досліджень на моделі значення коефіцієнта згущення $\frac{B_{зг}}{B_{жив}} = 22,183$. Натурні дані відрізняються від теоретичних на 2,5%. Обчислений коефіцієнт згущення знаходиться усередині діапазону помилки вимірів експерименту, яка дорівнює 5%.

Кількісний аналіз показав, що найбільший ефект при регулюванні спрямованим потоком повітря забезпечується енергією, що використана на протидію силі тиску (робота A_p), і втрати енергії при перебудові згущеного потоку через місцеві втрати (E_n).

Відповідно, найбільший ефект регулювання можна одержати в самому найвужчому перетині пісового насадка, але обов'язково енергія (робота A_p) струменя прикладається всередині пісового насадка.

Тільки в цьому випадку спрямований під кутом $\alpha = 30^\circ$ струмінь повітря не відбивається в атмосферу і забезпечується ефективна протидія силі тиску згущеного продукту. Це підтверджують оптимальні конструктивні параметри промислового пневматичного регулятора, знайдені експериментально.

Аналіз кінограм процесу регулювання згущенням у гідроциклоні направленим струмом повітря при оптимальних конструктивних параметрах регулятора дозволяє зробити висновок, що найбільш ефективне регулювання досягається при куті подачі повітря $\alpha = 30^\circ$, коли обтікання потоку забезпечується на виході, але повністю в тілі пісового насадка. Візуалізація потоків у гідроциклоні також підтверджує результати розрахунків і аналіз запропонованої математичної моделі, яка перевірена на результатах даних, отриманих при плануванні експерименту на моделі в промислових умовах у водно-шламовій системі збачувальної фабрики.

1. Національна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Україні

ні у 2004 році / Міністерство охорони навколишнього природного середовища України // <http://www.menr.gov.ua/img/nd 2004.pdf>.

2.Зозуля І.І., Назимко Е.І., Самойлик Г.В., Смирнов В.А. Проектирование угле-обогатительных фабрик. – К.: УМК ВО, 1992. – С. 120-122.

3.Баранов Д.А. Принципы расчета и конструирования гидроциклонов для разделения эмульсий: Дисс. ... д-ра техн. наук: 05.17.08. – М., 1996. – 212 с.

4.А.с. 974664 СССР. Способ регулирования гидроциклона и устройство для его осуществления / Д.Н.Копаница, Ю.Д.Копаница. – Оpubл. в Б.И., 1988, №31.

5.А.с. 1503883 СССР, МКИ³ В 03 В 13/00. Устройство автоматического регулирования гидроциклона / Д.Н.Копаница, Ю.Д.Копаница (СССР). – №3797595/22-03; Заяв. 31.08.84; Оpubл. 30.08.89, Бюл.№32. – 2с.

6.Лобачев П.В., Шевелев Ф.А. Измерение расхода жидкостей и газов в системах водоснабжения и канализации. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1985. – 424 с.

7.Дьяконов В.П. Maple 9 в математике, физике и образовании. – М.: СОЛОН-Пресс, 2004. – 688 с.

8.Голоскоков Д.П. Уравнения математической физики. Решение задач в системе Maple. – СПб.: Питер, 2004. – 539 с.

Отримано 24.07.2007

УДК 697.9

А.Ф.СТРОЙ, д-р техн. наук

Полтавський національний технічний університет ім. Юрія Кондратюка

НАГРІВАННЯ ПОВІТРЯ ПРИ ПЕРЕМІЩЕННІ ЙОГО ВЗДОВЖ ІЗОТЕРМІЧНОЇ ПОВЕРХНІ

Розроблено диференційне рівняння, на основі якого одержана формула для визначення температури повітря при проходженні його вздовж ізоtermічної нагрітої чи холодної поверхні. Формула дає можливість проаналізувати в явному вигляді як впливають різні фактори на зміну температури повітря.

Розрахунок зміни температури повітря при переміщенні його вздовж ізоtermічної холодної чи нагрітої поверхні є досить важливим при вирішенні задач пасивних систем опалення за допомогою сонячної енергії, при визначенні коефіцієнта теплопередачі огорожжуючої конструкції з повітряним прошарком, а також при розрахунках нагрівання і охолодження повітря в теплообмінних апаратах.

Диференційне рівняння, за допомогою якого після інтегрування можна визначити температуру повітря, при проходженні його по повітряному прошарку в огорожжуючій конструкції, наведено в [1, 2]. Кінцевий вигляд цього рівняння не дає можливості проаналізувати, як впливають розміри прошарку на зміну температури повітря при його нагріванні чи охолодженні. До того ж диференційне рівняння записане для випадку, коли площа поперечного перерізу повітряного прошарку незмінна по всій довжині прошарку. Тобто це рівняння можна застосовувати для вирішення обмеженого кола задач, які пов'язані з повітряними прошарками в огорожжуючих конструкціях.